

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Реконструкция электрической части подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка»

Обучающийся

Е. В. Архарова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе предложены технические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ, что обусловлено необходимостью внедрения наиболее целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания, а также несоответствия условий резервирования требуемым нормам и положениям основных документов энергетики.

Также в работе, в качестве дополнительного мероприятия, необходимого для достижения высоких показателей надёжности и бесперебойности электроснабжения рассматриваемого объекта, проведена модернизация оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, обусловленная применением устаревшего, неэффективного и ненадёжного оборудования в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ объекта исследования. На основе анализа исходных данных понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка», выполнен расчёт основных параметров подстанции (электрических нагрузок, рабочих токов нормального режима и максимальных рабочих токов послеаварийного режима, токов короткого замыкания в максимальном режиме). Для решения поставленной задачи, в работе выбрано новое современное оборудование для установки в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка». Пересчитано заземление и молниезащита на объекте, что позволит повысить параметры надёжности и безопасности объекта.

## Содержание

Введение .....	4
1 Исходная характеристика подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка».....	7
1.1 Исходная характеристика принципиальной схемы и оборудования ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО.....	7
1.2 Разработка рекомендаций по реконструкции схемы и модернизации оборудования подстанции .....	16
2 Реконструкция электрической части подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка».....	21
2.1 Расчёт электрических нагрузок .....	21
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции на допустимую перегрузку.....	25
2.3 Выбор и проверка сечения проводников на подстанции .....	27
2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции .....	33
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов подстанции.....	40
3 Расчёт заземления и молниезащиты подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка».....	49
3.1 Расчёт системы заземления подстанции .....	49
3.2 Расчёт молниезащиты подстанции.....	56
Заключение .....	59
Список используемых источников.....	63

## Введение

Известно, что трансформаторные подстанции являются одним из наиболее важных звеньев в процессе выработки, преобразования и передачи электроэнергии [17].

Принимая и преобразуя электрическую энергию от приёмных устройств, понизительные подстанции энергосистемы передают её потребителям, таким образом, выполняя функции распределительного и передающего звена в энергосистеме.

В последнее время во многих энергетических системах страны наблюдается отклонение установленных параметров электрической энергии от предельно допустимых показателей, увеличение потоков реактивной мощности, увеличение потерь электрической энергии, увеличение аварийности и снижение надёжности.

Одной из причин сложившейся ситуации является несовершенство принятых схемных решений на понизительных подстанциях энергосистемы, а также чрезмерная эксплуатация в их системах устаревшего и неэффективного электрооборудования, которое подлежит замене, так как не может быть частично модернизировано [11].

Таким образом, решение данных проблем на стадии реконструкции и модернизации понизительных трансформаторных подстанциях энергосистемы является одной из важнейших задач современной энергетики Российской Федерации [20]. Приведённые аспекты формируют актуальность настоящей работы.

Целью работы является разработка и аргументированное обоснование наиболее рациональных «мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО» [2].

«Для достижения поставленной цели работы, необходимо решить следующие задачи (основная и дополнительные)» [9], а именно:

- в качестве основной задачи в работе, предлагается разработать и обосновать комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения наиболее целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ;
- в качестве первой дополнительной задачи, решение которой необходимо для достижения высоких показателей надёжности и бесперебойности электроснабжения рассматриваемого объекта, необходимо провести модернизацию оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, обусловленная применением устаревшего, неэффективного и ненадёжного оборудования в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ объекта исследования;
- в качестве второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах подстанции, необходимо провести практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

«Объектом исследования в работе является схема главных нормальных электрических соединений понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/35/10 кВ» [3] «Пестровка» Чапаевского ПО, включая основное оборудование распределительных устройств последней.

Предметом исследования являются показатели и параметры надёжности, бесперебойности, экономичности и безопасности схемы главных нормальных электрических соединений, а также её основного оборудования, понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО.

Результатом работы является выбор, проверка и обоснование

целесообразных технических решений, позволяющим качественно повысить показатели надёжности, бесперебойности, экономичности и безопасности схемы главных нормальных электрических соединений и основного оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО.

Разработку данных мероприятий необходимо проводить с практическим внедрением современных требований нормативных документов и инновационных разработок в сфере схемных решений и электротехнического оборудования на объекте исследования.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 65 печатных страниц и графической частью, содержащей шесть основных чертежей формата А1, выполненных в САПР «AutoCAD».

Расчётно-пояснительная записка работы состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка использованных источников из 20 наименований. Она выполнена в приложении «Microsoft Word» с использованием для визуализации данных анализа и полученных результатов 12 таблиц и 6 рисунков.

Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, научная литература, учебные пособия, типичные проекты, а также интернет-ресурсы.

## **1 Исходная характеристика подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка»**

### **1.1 Исходная характеристика принципиальной схемы и оборудования ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО**

На первом этапе работы, с целью уточнения состояния объекта проектирования и проведения анализа исходных данных, проводится характеристика принципиальной схемы нормального режима и оборудования ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

«Рассматриваемая в работе ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО является одной из потребительских подстанций региональных электрических сетей» [12] («Самарские электросети»).

Согласно паспорту данной подстанции, она была введена в работу в 1987 году.

По месту расположения в энергосистеме региона, ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО является узловой подстанцией. При этом на сегодняшний день транзит мощности через данную подстанцию не осуществляется, однако он возможен в случае необходимости.

Подстанция ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО территориально расположена в с. Пестровка Пестровского района Самарской области.

План расположения рассматриваемой и реконструируемой ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» на территории с. Пестровка Самарской области представлен на рисунке 1.

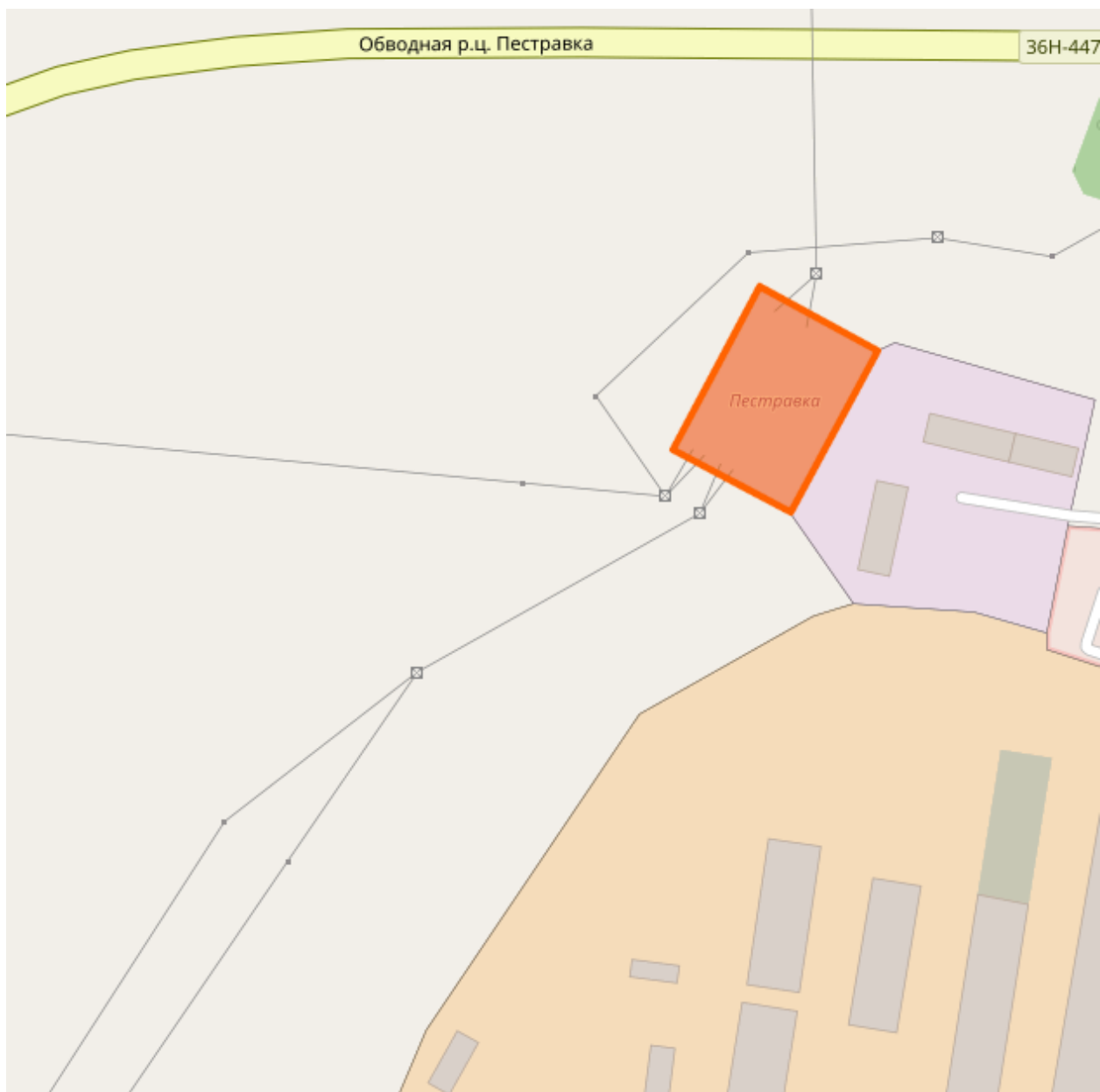


Рисунок 1 – План расположения ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» на территории с. Пестравка Самарской области

Питание подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО осуществляется одной воздушной линией электропередачи напряжением 110 кВ «Морец-Пестравка» (провод АС-120/19).

Данная линия 110 кВ питает одну систему сборных шин в ОРУ-110 кВ, от которой получают непосредственное питание два силовых трансформатора подстанции.

Таким образом, установлено, что резервирование в питающей схеме ОРУ-110 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО



отсутствует. Данный аспект не соответствует требованиям [10], которые предъявляются к питанию потребителей 1 и 2 категорий надёжности.

Решение данной проблемы необходимо предложить и обосновать в работе далее.

Расположение питающей линии 110 кВ «Морец-Пестравка» и ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» на территории с. Пестравка Пестравского района Самарской области показано на рисунке 2.

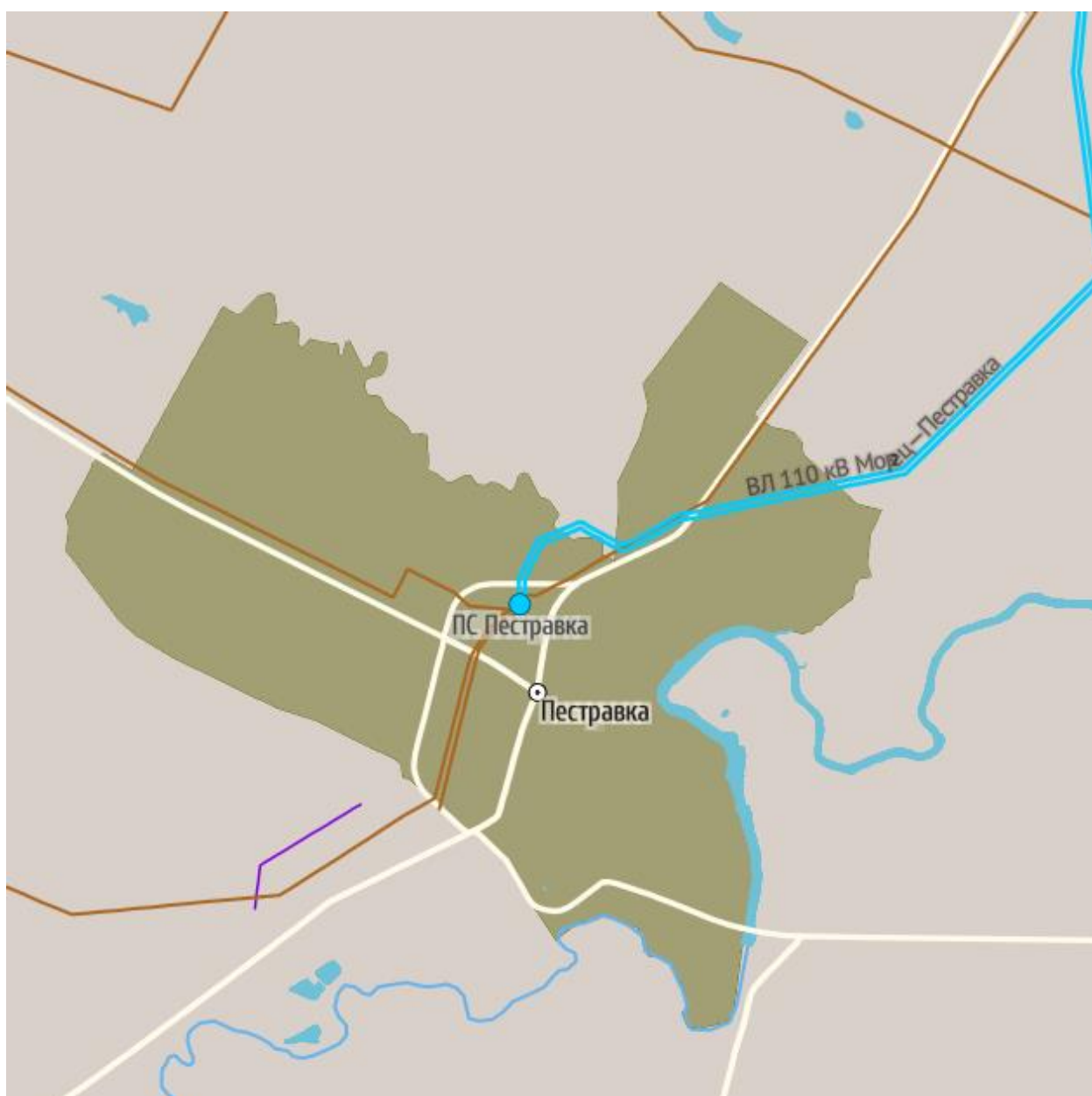


Рисунок 2 – Расположение питающей линии 110 кВ «Морец-Пестравка» и ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» на территории с. Пестравка Пестравского района Самарской области

Далее в работе «рассматривается структурная схема ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области с последующей характеристикой её основных составляющих и схем электрических соединений.

Структурная схема ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области до проведения её реконструкции и модернизации оборудования» [5] РУ представлена в работе на рисунке 3.

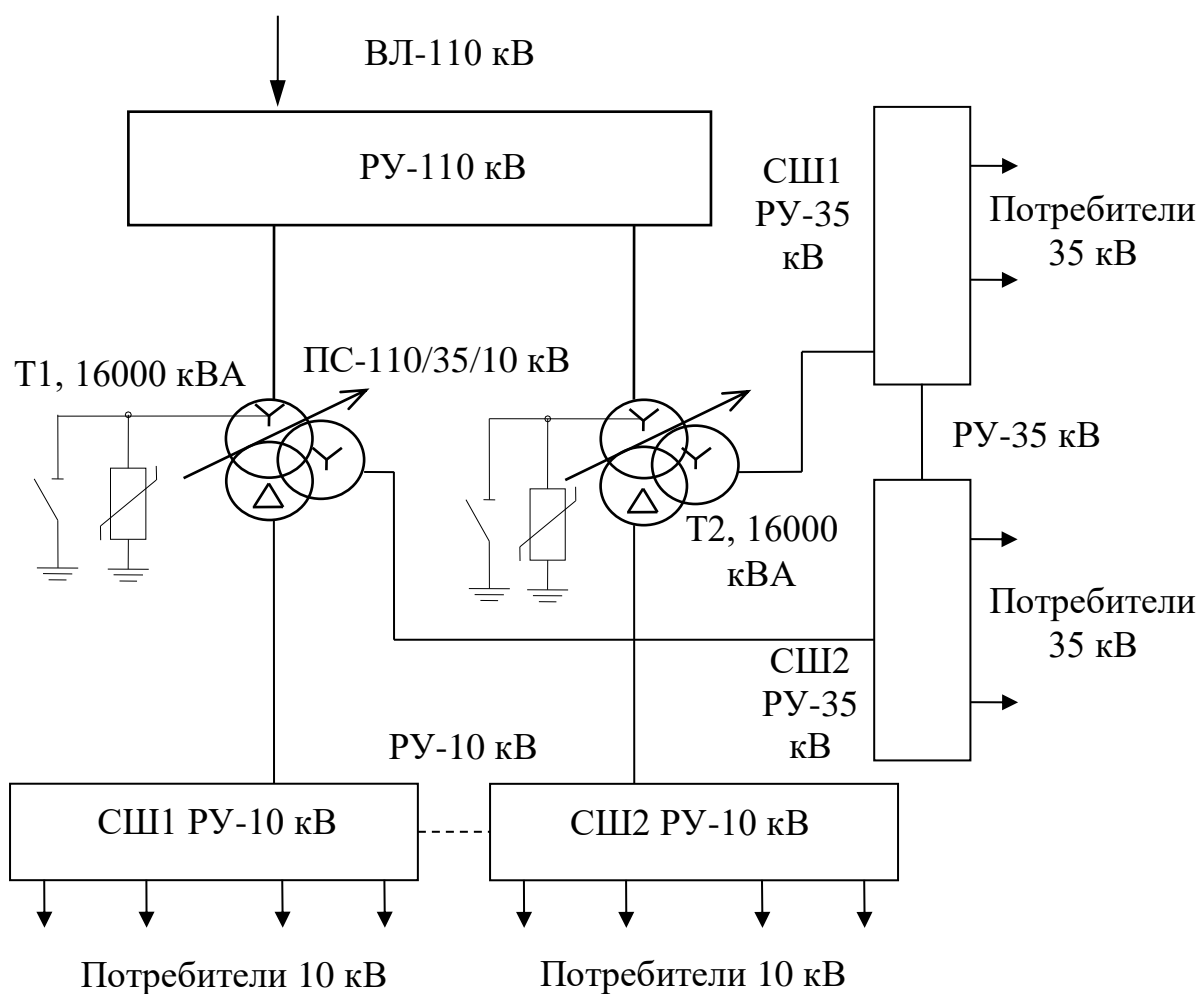


Рисунок 3 – Структурная схема ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области до проведения её реконструкции и модернизации оборудования РУ

Конструктивно РУ-110 кВ подстанции сооружено открытым (далее в работе – ОРУ-110 кВ).

В данной схеме ОРУ-110 кВ отсутствует ремонтная перемычка, а так как, согласно паспортным данным, подстанция ТП-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области относится к узловому типу, то в схеме её ОРУ-110 кВ должна быть предусмотрена также автоматическая перемычка [10].

Однако данное условие не выполняется и требуется решение данной проблемы в работе.

«В РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 1):

- масляные баковые выключатели марки МКП-110Б-20-630/1000-У1 (со встроенными измерительными трансформаторами тока) – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (оба в нормальном режиме оперативной схемы включены);
- разъединители марки РЛНДЗ-110/600 – всего в схеме ОРУ-110 кВ подстанции предусмотрено четыре разъединителя, которые установлены на» [3] линиях в блоках «выключатель-разъединитель» (по одному на каждой линии – до выключателя и по одному – после выключателя).

Таким образом, в результате проведения анализа установлено, что в ОРУ-110 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области «данные выключатели высокого напряжения и разъединители являются давно устаревшим оборудованием, которое введено в эксплуатацию в конце восьмидесятых годов прошлого века, они не» [4] подлежат частичной модернизации и требуют полной замены на современные типы соответствующего оборудования.

«Кроме основного силового оборудования, в ОРУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестравка», также установлено следующее оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений (графический лист 1)» [6]:

- измерительные трансформатор напряжения марки НКФ-110 – 3 единицы;
- измерительные трансформаторы тока (встроенные в выключатели) марки ТВТ-110-300/5 – 6 единиц (схема полной звезды, 2 присоединения);
- ограничители перенапряжения ОПНп-110/550/77-10-III.

Также не нуждаются в замене ограничители перенапряжения 110 кВ (изготовлены и установлены на подстанции в 2008 году).

«Силовые трансформаторы марки ТДТН-16000/110, установленные на ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, проходили плановый капитальный ремонт в 2020 году и характеризуются хорошей работоспособностью и надёжностью. Вследствие этого, в работе планируется провести их проверку по суточному графику нагрузки на условия допустимой перегрузки в связи с реконструкцией схемы электрических соединений подстанции» [7].

Распределительное устройство 35 кВ (далее в работе – ОРУ-35 кВ) подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО также конструктивно выполнено открытым.

«В ОРУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО применяется схема в виде двух блоков с выключателями и автоматической перемычкой с установленными двумя разъединителями и выключателем высокого напряжения в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы все они отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях. Такая схема очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и нормативных документов» [7].

«В ОРУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестровка», установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 1)» [11]:

- «современные вводные вакуумные выключатели марки ВБЭС-35-III-25/630 со встроенными измерительными трансформаторами тока» [11] – 2 единицы (по одному на каждом из вводов;

- устаревший «секционный выключатель масляного бакового типа марки С-35-630-10 – 1 единица в ремонтной автоматической перемычке» [2];
- устаревшие линейные выключатели масляного бакового типа марки МКП-35-1000 – 2 единицы;
- «устаревшие разъединители марки РЛНДЗ-35/600» [2].

«Кроме основного силового оборудования, в ОРУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестровка», также установлено следующее современное оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений, также не нуждающееся в модернизации (графический лист 1)» [7]:

- «измерительные трансформатор напряжения марки ЗНОМ-35-65 У1» [7];
- измерительные трансформаторы тока (встроенные в выключатели) марки ТВТ-35 – 42 единицы (схема полной звезды, 7 присоединений);
- ограничители перенапряжения марки ОПН-35-УХЛ1.

Из перечисленного оборудования ОРУ-35 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка», указанные типы измерительных трансформаторов тока и напряжения были модернизированы в 2007 году, поэтому они не нуждаются в замене.

Также не нуждаются в замене ограничители перенапряжения 35 кВ (изготовлены и установлены на подстанции в 2008 году).

От ОРУ-35 кВ 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области воздушными линиями электропередачи напряжением 35 кВ получают питание по два присоединения от каждой секции сборных шин (всего – 4 присоединения в ОРУ-35 кВ 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области).

При этом от СШ-1 ОРУ-35 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области питаются линии потребителей «Мосты-2» и «Падовка-1». От СШ-2 ОРУ-35 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области получают питание линии потребителей

«Петрухновская» и «Пестровка-2». Исходные значения нагрузок данных линий 35 кВ представлены в работе далее при анализе потребителей.

«В распределительном устройстве 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) подстанции 110/35/10 кВ применяется схема с двумя рабочими, секционированными выключателем, системы сборных шин с установленным секционным выключателем высокого напряжения между двумя рабочими секциями сборных шин. В данной схеме РУ-10 кВ в нормальном режиме применяется раздельный режим работы секций сборных шин (секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён)» [7].

«В РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ установлено следующее основное силовое оборудование в виде масляных горшковых выключателей марки ВМПЭ-10/630 – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (в нормальном режиме оперативной схемы включены), один секционный выключатель (в нормальном режиме оперативной схемы отключён), а также линейные выключатели по числу отходящих линий (по десять от каждой секции сборных шин 10 кВ). В РУ-10 кВ подстанции данные выключатели высокого напряжения являются устаревшим и изношенным оборудованием, они не подлежат частичной модернизации и требуют замены на современные типы выключателей. Так как РУ-10 кВ подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области конструктивно выполнено в виде комплектного распределительного устройства с выкатными элементами наружной установки (далее КРУН), то разъединители в его схеме не устанавливаются, так как они заменены на втычные контакты данных ячеек. В РУ-10 кВ подстанции 110/35/10 кВ» [16] «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области применяется КРУН единой серии К-XXVI.

Также в РУ-10 кВ установлены устаревшие разрядники марки РВП-10 (введены в эксплуатацию в 1987 году). Они также не подлежат частичной модернизации и нуждаются в замене на современные ограничители перенапряжения.

Следующим основным элементом структурной схемы ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО являются её потребители.

«Технические данные максимальных нагрузок потребителей подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, представлены в таблице 1» [8].

Таблица 1 – Технические данные максимальных нагрузок подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области

Секция сборных шин	Наименование потребителя	Р <sub>м</sub> , кВт
Нагрузка ОРУ-35 кВ		
I	«Мосты-2»	1060,0
	«Падовка-1»	800,0
II	«Петруховская»	570,7
	«Пестровка-2»	1200,0
Всего по ОРУ-35 кВ		3630,7
Нагрузка РУ-10 кВ		
I	яч.1 ф. «Прогресс»	206,2
	яч.2 ф. «ЦРММ-1»	124,8
	яч.3 ф. «Хлебозавод»	161,3
	яч.4 ф. «Дражный»	181,6
	яч. 5 ф. «Пестровка-5»	289,2
	яч. 7 ф. «Пестровка-1»	730,1
	яч. 9 ф. «Котельная АРМЗ»	701,5
	яч.11 ф. «Пестровка-11»	197,3
	яч.14 ф. «АЗС»	145,8
	яч.17 ф. «Пестровка-9»	192,4
Всего по СШ-I 10 кВ		2930,2
II	яч.21 ф. «ГВП»	201,5
	яч.27 ф. «ОУП-2»	294,2
	яч.30 ф. «Аэропорт»	312,2
	яч.32 ф. «ЦРММ – 2»	39,1
	яч. 25 ф. «ГВП 2»	21,2
	яч. 19 ф. «АЯМ»	130,5
	яч 15 ф. «Пестровка-3»	149,5
	яч.20 ф. «Эл.бойлерная»	276,2
Всего по СШ-II 10 кВ		1424,4
Всего по РУ-10 кВ		4354,6
Всего по ТП-110/35/10 кВ «Пестровка»		7985,3

«Исходная схема электрических соединений ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО приведена в данной работе на графическом листе 1» [8].

## **1.2 Разработка рекомендаций по реконструкции схемы и модернизации оборудования подстанции**

«Далее в работе, на основании систематизации технических данных подстанции и анализа современных норм технологического проектирования понизительных подстанций энергосистемы, проводится обоснование необходимости проведения реконструкции схемы» [10] электрических соединений и модернизации оборудования распределительных устройств ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

В результате проведения анализа исходной схемы с учётом текущего состояния основного оборудования, в работе предложено решить следующие задачи (основная и дополнительные), а именно:

- в качестве основной задачи в работе, предлагается разработать и обосновать комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения наиболее целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ;
- в качестве первой дополнительной задачи, решение которой необходимо для достижения высоких показателей надёжности и бесперебойности электроснабжения рассматриваемого объекта, необходимо провести модернизацию оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, обусловленная применением устаревшего, неэффективного и ненадёжного оборудования в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ объекта исследования;
- в качестве второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности



в распределительных устройствах подстанции, необходимо провести практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Для удобства и наглядности, сводный анализ проблем, выявленных в схеме электрических соединений ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, а также предложенные пути их решения, сведён в работе в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводный анализ проблем, выявленных в схеме электрических соединений подстанции, а также предложенные пути их решения на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО

Наименование РУ	Наименование проблемы	Несоответствие нормативным документам	Решение проблемы
ВЛ-110 кВ к РУ-110 кВ	Питание подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО осуществляется одной ВЛ-110 кВ от Л-134, ПС-5-ПС-2 «Лебединый» (провод АС-120/19). Резервирование в схеме питания отсутствует	[3], [10], [11]	Ввод в эксплуатацию второй питающей линии ВЛ-110 кВ от второго независимого источника
Схема РУ-110 кВ	В РУ-110 кВ узловой ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО применяется схема без резервирования «Два блока выключатель-разъединитель»	[3], [5], [10], [11]	Внедрение в РУ-110 кВ схемы «5Н»
РУ-110 кВ, РУ-35 кВ, РУ-10 кВ	Устаревшее изношенное оборудование	[6], [7], [10]	Демонтаж с заменой на современные типы и марки оборудования

Основная задача в работе решается путём реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ.

Установлено, что среди потребителей ПС преобладает вторая категории надёжности, поэтому вся подстанция требует двух независимых источников питания от энергосистемы, а также применения новой улучшенной схемы нормального режима в ОРУ-110 кВ.

Требования документов к резервированию независимых источников питания трансформаторных подстанций энергосистемы, исходя из их категории надёжности, показаны на рисунке 4 [12].

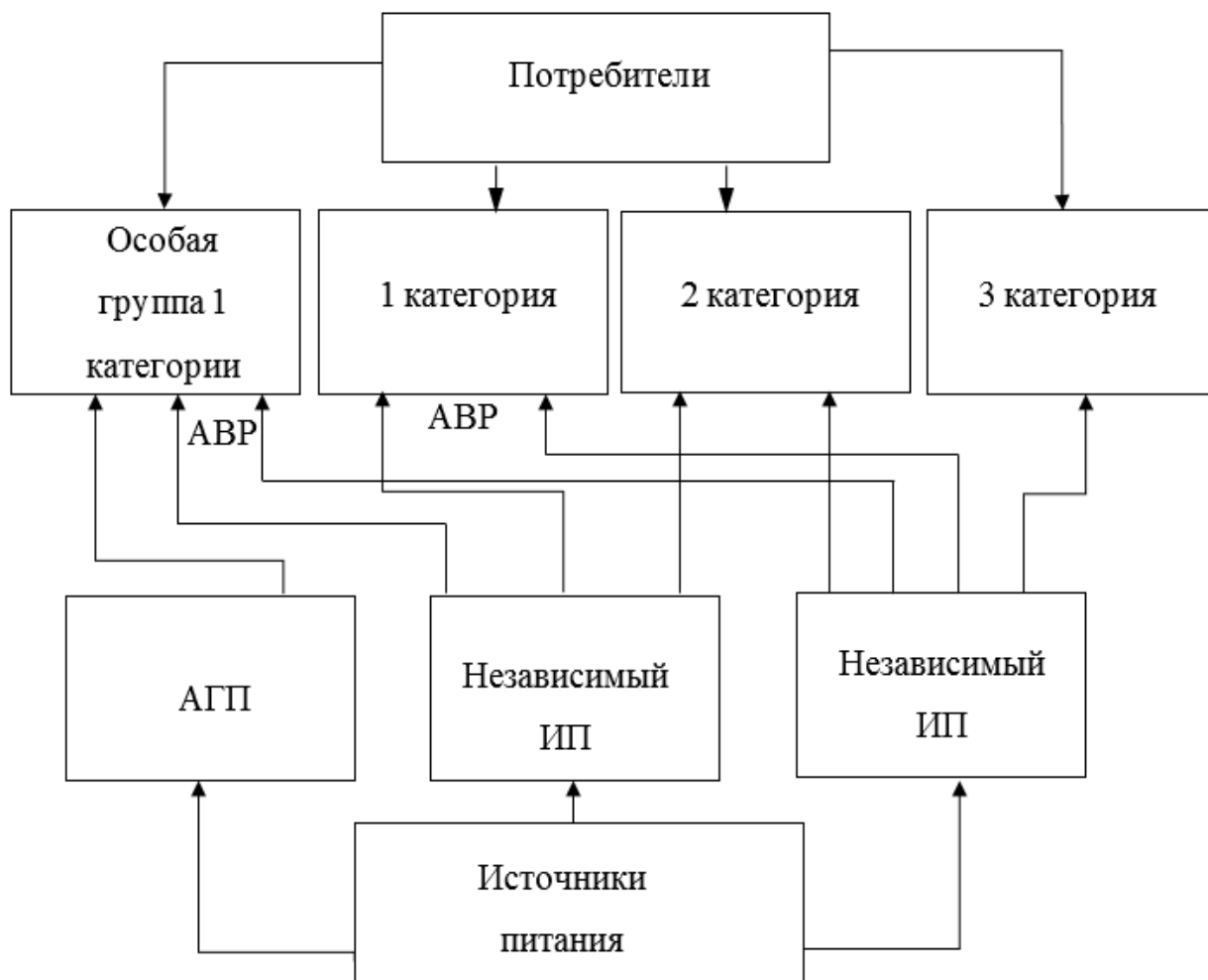


Рисунок 4 – Требования нормативных документов к резервированию независимых источников питания трансформаторных подстанций энергосистемы, исходя из их категории надёжности [12]

Для решения дополнительных задач в работе планируется замена устаревших электрических аппаратов во всех распределительных устройствах подстанции, а также перерасчёт устройств заземления и молниезащиты объекта проектирования.

Данные мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой принятых решений на соответствие расчётным техническим параметрам.

Выводы по разделу 1.

На первом этапе работы, с целью уточнения состояния объекта проектирования и проведения анализа исходных данных, приведена исходная характеристика принципиальной схемы нормального режима и основного оборудования ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

В результате проведения анализа исходной схемы с учётом текущего состояния основного оборудования, в работе предложено решить следующие задачи (основная и дополнительные), а именно:

- в качестве основной задачи в работе, предлагается разработать и обосновать комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения наиболее целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ;
- в качестве первой дополнительной задачи, решение которой необходимо для достижения высоких показателей надёжности и бесперебойности электроснабжения рассматриваемого объекта, необходимо провести модернизацию оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, обусловленная применением устаревшего, неэффективного и ненадёжного оборудования в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ объекта исследования;
- в качестве второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах подстанции, необходимо провести практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Установлено, что основная задача в работе решается путём реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ. Установлено, что среди потребителей ПС преобладает вторая категории надёжности, поэтому вся подстанция требует двух независимых источников питания от энергосистемы, а также применения новой улучшенной схемы нормального режима в ОРУ-110 кВ. Кроме того, подстанция – узловая, следовательно, через неё возможен транзит мощности (в случае необходимости). Таким образом, на основании данных аргументов принято решение о проектировании и последующем вводе в эксплуатацию второго независимого источника питания подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО на стороне 110кВ, с внедрением новой схемы нормальных электрических соединений «5Н».

Для решения дополнительных задач в работе планируется замена устаревших электрических аппаратов во всех распределительных устройствах подстанции, а также перерасчёт устройств заземления и молниезащиты объекта проектирования. Данные мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой принятых решений.

Таким образом, при решении поставленных задач (основной и дополнительных), цель работы будет достигнута.

## 2 Реконструкция электрической части подстанции 110/35/10 кВ «Пестровка»

### 2.1 Расчёт электрических нагрузок

Исходными данными для расчёта нагрузок, является максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 35 кВ и 10 кВ электрической части ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО.

При этом установлено, что график нагрузки на подстанции имеет постоянный линейный характер, то есть изменения нагрузки присоединений в течении суток изменяются в минимально-допустимых пределах, таким образом, этими изменениями можно пренебречь.

«Активная расчётная нагрузка присоединений потребителей электрической части ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО» [11]:

$$P_{\text{пр}} = K_3 \cdot P_{\text{м}}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

«где  $P_{\text{м}}$  – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 35 кВ и 10 кВ электрической части ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, кВт (таблица 1);

$K_3$  – коэффициент загрузки потребителей ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, о.е.» [6].

«Реактивная расчётная нагрузка присоединений потребителей подстанции» [11]:

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

«где  $\text{tg } \varphi$  – коэффициент реактивной мощности» [8].

«Реактивная нагрузка присоединений потребителей подстанции» [11]:

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2}. \quad (3)$$

«Расчётный ток нормального режима» [11]:

$$I_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{пр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}. \quad (4)$$

«где  $U_{\text{ном.}}$  – номинальное напряжение сети, кВ» [11].

«Таким образом, на примере присоединения 35 кВ «Мосты-2» по условиям (1) – (4)» [10]:

$$P_{\text{пр}} = 1060 \cdot 1 = 1060 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{пр}} = 1060 \cdot 0,4 = 424 \text{ квар.}$$

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{1060^2 + 424^2} \approx 1141,7 \text{ кВА.}$$

$$I_{\text{пр}} = \frac{1141,7}{\sqrt{3} \cdot 35} = 18,83 \text{ А.}$$

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей 35 кВ и 10 кВ понизительной подстанции приведением результатов расчёта в форме таблицы 2. Известно, что расчёт электрических нагрузок на сборных шинах подстанций проводится с учётом одновременности максимума нагрузки» [11], который определяется коэффициентом максимума.

Такая методика расчёта является наиболее точной. Результаты, полученные по приведённой методике, используются далее при выборе и проверке проводников и электрических аппаратов.

«Значение расчётной активной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей подстанции» [11]:

$$P_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{\text{пр}}, \quad (5)$$

«где  $\sum_{i=1}^n P_{\text{пр}}$  – суммарная активная нагрузка всех присоединений,

получающих питание от секций сборных шин электрической части подстанции;

$K_0$  – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ» [11] «Пестровка» Чапаевского ПО. С учётом постоянной и равномерной нагрузки на протяжении суток практически всех линий потребителей подстанции,  $K_0 = 1,0$  [14].

«Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО» [11]:

$$Q_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}, \quad (6)$$

«где  $\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}$  – суммарная реактивная нагрузка всех присоединений,

получающих питание от секций сборных шин электрической части подстанции» [11].

«Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей подстанции» [11]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}. \quad (7)$$

«При этом значение расчётного рабочего тока нормального режима секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей ПС-110/35/10 кВ» [11] «Пестровка» Чапаевского ПО:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \quad (8)$$

Результаты расчёта нагрузок приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок

Секция сборных шин	Наименование потребителя	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А
Нагрузка РУ-35 кВ					
I	«Мосты-2»	1060,00	424,00	1141,70	18,83
	«Падовка-1»	800,00	320,00	861,60	14,21
II	«Петрухновская»	570,70	228,30	614,66	10,14
	«Пестровка-2»	1200,00	480,00	1292,40	21,32
Всего по РУ-35 кВ (K <sub>0</sub> = 1)		3630,70	1452,30	3910,39	64,50
Нагрузка РУ-10 кВ					
I	яч.1 ф. «Прогресс»	206,20	82,48	222,08	21,37
	яч.2 ф. «ЦРММ-1»	124,80	49,92	134,41	12,92
	яч.3 ф. «Хлебозавод»	161,30	64,52	173,73	16,70
	яч.4 ф. «Дражный»	181,60	72,64	195,59	18,81
	яч. 5 ф. «Пестровка-5»	289,20	115,68	311,48	29,95
	яч. 7 ф. «Пестровка-1»	730,10	292,04	786,34	75,61
	яч. 9 ф. «Котельная АРМЗ»	701,50	280,60	755,50	72,65
	яч.11 ф. «Пестровка-11»	197,30	78,92	212,50	20,43
	яч.14 ф. «АЗС»	145,80	58,32	157,03	15,10
яч.17 ф. «Пестровка-9»	192,40	76,96	207,22	19,93	
Всего по СШ-I 10 кВ (K <sub>0</sub> = 1)		2930,20	1172,10	3155,90	303,45
II	яч.21 ф. «ГВП»	201,50	80,60	217,02	20,87
	яч.27 ф. «ОУП-2»	294,20	117,68	316,86	30,47
	яч.30 ф. «Аэропорт»	312,20	124,88	336,25	32,33
	яч.32 ф. «ЦРММ – 2»	39,10	15,64	42,11	4,05
	яч. 25 ф. «ГВП 2»	21,20	8,48	22,83	2,20
	яч. 19 ф. «АЯМ»	130,50	52,20	140,55	13,51
	яч. 15 ф. «Пестровка-3»	149,50	59,8	161,01	15,48
яч.20 ф. «Эл.бойлерная»	276,20	110,48	297,48	28,60	
Всего по СШ-II 10 кВ (K <sub>0</sub> = 1)		1424,40	569,76	1534,11	147,51
Всего по РУ-10 кВ (K <sub>0</sub> = 1)		4354,60	1741,86	4690,01	450,96
Всего по ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» (K <sub>0</sub> = 1)		7985,30	3194,16	8600,45	-

Результаты расчёта нагрузок используются в работе далее.



## 2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции на допустимую перегрузку

«На подстанции переменного тока ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области установлены два силовых трёхобмоточных трансформатора марки ТДТН-16000/110. При этом установлено, что оба силовых трансформатора на ПС-110/35/10 кВ» [14] «Пестравка» Чапаевского ПО находятся в рабочем исправном состоянии.

«Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов ТП-110/35/10 кВ, исходя из значения максимальной нагрузки подстанции» [14], с учётом внедрения мероприятий по реконструкции ОРУ-110 кВ объекта, а также рассчитанных нагрузок подстанции.

С учётом постоянной и равномерной нагрузки на протяжении суток практически всех линий потребителей подстанции, проверка силовых трансформаторов на ней проводится расчётным путём.

«Требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора» [12]:

$$S_{\text{ном.т.р}} = 0,7 \cdot S_{\text{ПС}}, \text{МВА.} \quad (9)$$

По условию (9) для силовых трансформаторов марки ТДТН-16000/110, находящихся на ПС-110/35/10 кВ «Пестравка»:

$$S_{\text{ном.т.р}} = 0,7 \cdot 8600,45 \approx 6020,31 \text{ кВА.}$$

«Проверочный расчёт силового трансформатора по расчётной мощности заключается в том, что номинальная мощность трансформатора должна быть не меньше» [14] полученного значения расчётной нагрузки:

$$S_{\text{НОМ.Т}}, \text{кВА} \geq S_{\text{НОМ.Т.Р}}, \text{кВА}. \quad (10)$$

По условию (10) для силовых трансформаторов марки ТДТН-16000/110, находящихся на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» можно сделать вывод, что их номинальная мощность соответствует нагрузке подстанции:

$$S_{\text{НОМ.Т}} = 16000 \text{ кВА} \geq S_{\text{НОМ.Т.Р}} = 6020,31 \text{ кВА}.$$

«Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме» [10]:

$$K_{3.Н} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 0,7. \quad (11)$$

Проверка трансформатора в нормальном режиме работы (11) выполняется:

$$K_{3.Н} = \frac{0,5 \cdot 8600,45}{16000} = 0,27 \leq 0,7.$$

При этом коэффициент загрузки этого трансформатора в послеаварийном режиме не должен превышать [10]:

$$K_{3.П} = \frac{S_{\text{ПС}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 1,4. \quad (12)$$

$$K_{3.П} = \frac{8600,45}{16000} = 0,54 \leq 1,4.$$

«Условие проверки силовых трансформаторов подстанции ТП-110/35/10 кВ в послеаварийном режиме выполняются. Следовательно, данные трансформаторы не нуждаются в замене» [14].

### **2.3 Выбор и проверка сечения проводников на подстанции**

Ранее в работе было установлено, что основная задача исследования решается путём реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ. Было установлено, что среди потребителей ПС преобладает вторая категория надёжности, поэтому вся подстанция требует двух независимых источников питания от энергосистемы, а также применения новой улучшенной схемы нормального режима в ОРУ-110 кВ. Кроме того, подстанция – узловая, следовательно, через неё возможен транзит мощности (в случае необходимости). Таким образом, на основании данных аргументов принято решение о проектировании и последующем вводе в эксплуатацию второго независимого источника питания подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО на стороне 110кВ в виде воздушной линии электропередачи 110 кВ, с внедрением новой схемы нормальных электрических соединений «5Н».

В исходной схеме нормального режима питание подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО осуществлялось одной воздушной линией электропередачи напряжением 110 кВ «Морец-Пестравка» (провод АС-120/19).

Данная линия 110 кВ питала одну систему сборных шин в ОРУ-110 кВ, от которой получают непосредственное питание два силовых трансформатора подстанции.

«Предлагается ввести в эксплуатацию вторую питающую воздушную линию напряжением 110 кВ, которая будет питать второй силовой трансформатор» [16] от ПС «Морец». При этом, с целью экономии ресурсов, предлагается для данной линии использовать те же опоры, что и для существующей воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ

«Морец-Пестравка» (провод АС-120/19). При этом траверсы на данной линии предлагается заменить с одноцепных на двухцепные, подвесив провода новой ВЛ-110 кВ ниже существующей линии. Такой подход приведёт к значительной экономии времени и финансов [15].

В связи с необходимостью ввода в эксплуатацию новой воздушной линии 110 кВ на питающей подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области по условиям резервирования, необходимо выбрать и проверить её сечение. Кроме того, в работе проводится проверка воздушных линий отходящих присоединений потребителей напряжением 10 кВ.

«Известно, что выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных воздушных линий напряжением 10 кВ) подстанции, осуществляется по известному условию экономической плотности тока» [11]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (13)$$

где « $j_3$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

«Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ТП-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области по условию нагрева током в послеаварийном режиме, необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима работы с учётом условий резервирования в схеме.

По упрощённой методике, значение максимального тока ПАВ режима можно принять равным рабочему току, с учётом коэффициента резервирования, который можно принять 1,4» [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (14)$$

«где  $S_p$  – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА;

$I_p$  – расчётный ток нормального режима соответствующей воздушной линии (таблица 2);

$U_{ном}$  – номинальное напряжение линии, кВ» [10].

«После выбора проводника воздушных линий, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Проверка выбранного сечения провода воздушных линий в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (15)$$

где « $I_{доп}$  – предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

«Проверка выбранного сечения провода воздушной линии в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p,max}, \quad (16)$$

где « $I_{p,max}$  – максимальный ток послеаварийного режима работы воздушной линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [11].

«Кроме того, по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии» [10]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (17)$$

«Таким образом, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом данных таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], а также принимая во внимание климатические условия, минимальные сечения проводов АС:

- для линий 110 кВ – не менее 120 мм<sup>2</sup>;
- для линий 35 кВ – не менее 50 мм<sup>2</sup>;
- для линий 10 кВ – не менее 25 мм<sup>2</sup>» [10].

«На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор сечения новой питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО. Известно, что сечение питающей воздушной линии напряжением 110 кВ выбирается, исходя из номинальной мощности силовых трансформаторов, которые от неё питаются» [10].

«Как было указано ранее, на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО установлены два силовых трансформатора марки ТДТН-16000/110, проверенные на перегрузочную способность в работе ранее.

В связи с этим, ток нормального режима питающей ВЛ-110 кВ для питания каждого трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО будет определяться по условию (8)» [13]:

$$I_p = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 83,98 \text{ А.}$$

«Расчётное минимальное сечение питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области по условию экономической плотности тока» [16]:

$$F_3 = \frac{83,98}{1,1} = 76,35 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, на втором (новом) вводе (от РП-110 кВ «Рябиновый») для питающей воздушной линии 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестравка», принимается минимальное сечение по климатическим условиям, которое совпадает с сечением первого (существующего) ввода ВЛ-110 кВ, находящегося в работе на подстанции до проведения её реконструкции.

Таким образом, для новой ВЛ-110 кВ, рекомендованной к вводу на объекте в результате реконструкции, принято стандартное сечение, равное 120 мм<sup>2</sup> (провод марки АС-120/19).

Проверка сечения провода новой ВЛ-110 кВ по току нормального режима выполняется» [19]:

$$390 \text{ А} \geq 83,98 \text{ А.}$$

«Значение максимального тока ПАВ режима провода новой ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ТП-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО с учётом резервирования в схеме» [10]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 83,98 \approx 117,57 \text{ А.}$$

«Проверка проводов питающей ВЛ-110 кВ по максимальному току ПАВ режима выполняется» [10]:

$$390 \text{ А} \geq 117,57 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода новой питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ТП-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области по условию коронирующего разряда и механической прочности по гололёду и ветру также выполняется» [16]:

$$120 \text{ мм}^2 = 120 \text{ мм}^2.$$

«Проверка сечений проводов отходящих линий напряжением 35 кВ и 10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области выполнены по аналогичной методике с приведением полученных результатов в таблице 4 (итоговая таблица выбора сечения новой воздушной линии 110 кВ, с учётом проверочного расчёта проводников распределительных воздушных линий напряжением 35 кВ и 10 кВ подстанции)» [16].

Таблица 4 – «Результаты выбора сечения новой воздушной линии 110 кВ, с учётом проверочного расчёта проводников распределительных воздушных линий напряжением 35 кВ и 10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области» [16]

Линия	$I_p$ , А	$F_3$ , мм <sup>2</sup>	$F_{ст}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{p,max}$ , А	Марка провода	$I_{доп.}$ , А
Питающая ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ-Т1	83,98	76,35	120	117,57	АС-120/19	390
ВЛ-110 кВ-Т2 (новая ВЛ)	83,98	76,35	120	117,57	АС-120/19	390
Распределительные ВЛ-35 кВ						
«Мосты-2»	18,83	17,12	50	26,36	АС-50/ 8	210
«Падовка-1»	14,21	12,92	50	26,36	АС-50/ 8	210
«Петруховская»	10,14	9,22	50	14,20	АС-50/ 8	210
«Пестровка-2»	21,32	19,38	50	26,36	АС-50/ 8	210
Распределительные ВЛ-10 кВ						
яч.1 ф. «Прогресс»-Л-10 кВ	21,37	19,43	25	29,92	АС-25/ 4,2	210
яч.2 ф. «ЦРММ-1»-Л-10 кВ	12,92	11,75	25	18,09	АС-25/ 4,2	210
яч.3 ф. «Хлебозавод»-Л-10 кВ	16,70	15,18	25	23,38	АС-25/ 4,2	210
яч.4 ф. «Дражный»-Л-10 кВ	18,81	17,10	25	26,33	АС-25/ 4,2	210
яч. 5 ф. «Пестровка-5»-Л-10 кВ	29,95	27,23	25	41,93	АС-25/ 4,2	210
яч. 7 ф. «Пестровка-1»-Л-10 кВ	75,61	68,74	70	105,85	АС-70/ 11	265
яч. 9 ф. «Котельная АРМЗ»-Л-10 кВ	72,65	66,05	70	101,71	АС-70/ 11	265
яч.11 ф. «Пестровка-11»-Л-10 кВ	20,43	18,57	25	28,60	АС-25/ 4,2	210
яч.14 ф. «АЗС»-Л-10 кВ	15,10	13,73	25	21,14	АС-25/ 4,2	210
яч.17 ф. «Пестровка-9»-Л-10 кВ	19,93	18,12	25	27,90	АС-25/ 4,2	210
яч.21 ф. «ГВП»-Л-10 кВ	20,87	18,97	25	29,22	АС-25/ 4,2	210
яч.27 ф. «ОУП-2»-Л-10 кВ	30,47	27,70	25	42,66	АС-25/ 4,2	210
яч.30 ф. «Аэропорт»-Л-10 кВ	32,33	29,39	25	45,26	АС-25/ 4,2	210
яч.32 ф. «ЦРММ – 2»-Л-10 кВ	4,05	3,68	25	5,67	АС-25/ 4,2	210
яч. 25 ф. «ГВП 2»-Л-10 кВ	2,20	2,00	25	3,08	АС-25/ 4,2	210
яч. 19 ф. «АЯМ»-Л-10 кВ	13,51	12,28	25	18,91	АС-25/ 4,2	210
яч. 15 ф. «Пестровка-3»-Л-10 кВ	15,48	14,07	25	21,67	АС-25/ 4,2	210
яч.20 ф. «Эл.бойлерная»- Л-10 кВ	28,60	26,00	25	40,04	АС-25/ 4,2	210



Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, выбраны и проверены проводники новой питающей ВЛ-110 кВ, рекомендованной к вводу в эксплуатацию по результатам реконструкции питающей схемы ТП-110/35/10 кВ «Пестровка», а также подтверждены все сечения проводников распределительных воздушных линий 35 кВ и 10 кВ на подстанции.

#### **2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции**

В работе далее проводится расчёт токов короткого замыкания (КЗ) на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

«Значения токов КЗ в системе ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительных устройств в работе далее» [19].

«Поэтому, так как номинальных ступеней напряжения в схеме объекта исследования три (110 кВ, 35 кВ и 10 кВ), на всех них проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ)» [9].

Известно, что при наличии двух силовых трансформаторов на подстанции, учитывая их отдельный режим работы в нормальном режиме, в максимальном (послеаварийном) режиме в работе остаётся только один из них, питая все потребители объекта.

Для расчёта токов КЗ на первом этапе необходимо составить расчётную схему, исходя из технических условий, а также учитывая выбранные ранее схемные решения и оборудование (марки, сечения и длины питающих линий, марку и мощность силового трансформатора, оставшегося в работе в послеаварийном режиме, мощность «короткого замыкания при питании от энергосистемы» [16]).

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области представлена на рисунке 5» [16].

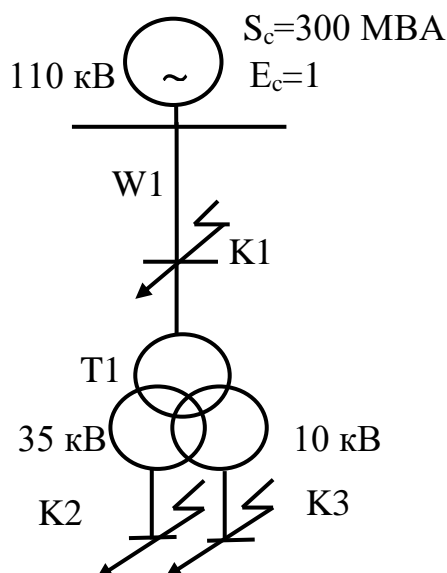


Рисунок 5 – «Расчетная схема для определения токов КЗ» [16]

«В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь. Схема замещения цепи КЗ, составленная, исходя из расчётной схемы, представлена на рисунке 6. На схеме замещения указываются сопротивления всех элементов и точки КЗ» [12].

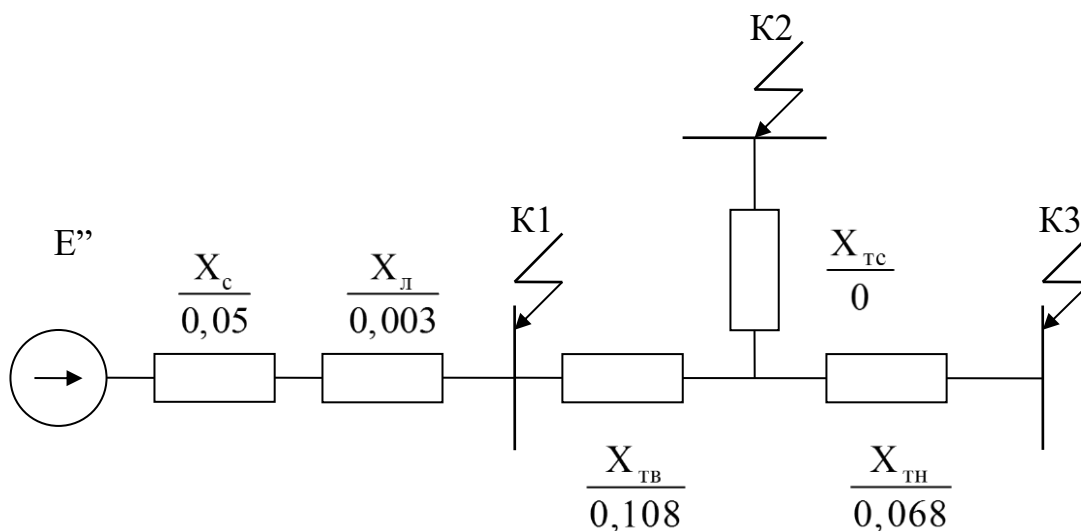


Рисунок 6 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на подстанции

«Базисная мощность» [12]:

$$S_6 = 16000 \text{ кВА} = 16 \text{ МВА.}$$

Базисные напряжения принимаются выше в 1,05 раза, чем номинальные значения напряжений в соответствующих сетях, которые питаются от обмоток силового трансформатора:

$$U_{61} = 115 \text{ кВ.}$$

$$U_{62} = 38,5 \text{ кВ.}$$

$$U_{63} = 6,3 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток схемы замещения» [12]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}. \quad (18)$$

«Базисный ток» [16]:

$$I_{61} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,08 \text{ кА.}$$

$$I_{62} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 0,24 \text{ кА.}$$

$$I_{63} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1,47 \text{ кА.}$$

«Сопротивление энергосистемы» [12]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\delta}''}{S_K}, \text{ о.е.}, \quad (19)$$

где  $S_K''$  - «полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (по данным энергосистемы)» [12].

$$x_{c*} = \frac{16}{300} = 0,05 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление новой питающей ВЛ-110 кВ с учётом её сечения и длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [16]:

$$x_{л*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ о.е.}, \quad (20)$$

«где  $x_0$  - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$L$ - суммарная длина питающей воздушной линии 110 кВ, км» [12].

$$x_{л*} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{16}{115^2} = 0,003 \text{ о.е.}$$

«Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора марки ТДТН-16000/110 с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [12].

Известно, что для таких трансформаторов в схеме замещения рассчитываются не два, а три сопротивления.

Таким образом, исходя из схемы замещения [12]:

$$x_{тв*} = \frac{S_{\delta}}{S_{НОМ}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.вс}, \% - U_{к.сн}, \%)}{100}. \quad (21)$$

$$X_{*TC} = \frac{S_{\bar{6}}}{S_{НОМ}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вс}, \% + U_{к.чн}, \% - U_{к.вн}, \%)}{100}. \quad (22)$$

$$X_{*TH} = \frac{S_{\bar{6}}}{S_{НОМ}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.чн}, \% - U_{к.вс}, \%)}{100}. \quad (23)$$

По условиям (21) – (25) для силового трансформатора марки ТДТН-16000/110, оставшегося в работе на подстанции в максимальном режиме:

$$X_{*TB} = \frac{16}{16} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 10,5 - 6,5)}{100} = 0,108 \text{ о.е.}$$

$$X_{*TC} = \frac{16}{16} \cdot \frac{0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5)}{100} = -0,0025 \approx 0 \text{ о.е.}$$

$$X_{*TH} = \frac{16}{16} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5)}{100} = 0,068 \text{ о.е.}$$

«На третьем этапе определяется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по следующему выражению с учётом результирующих сопротивлений к каждой точке КЗ» [16]:

$$I'' = \frac{E''}{X_{рез*}} \cdot I_{\bar{6}}. \quad (24)$$

«Результирующее значение сопротивления к точке К1 схемы» [16]:

$$X_{рез*} = X_{с*} + X_{л*}, \text{ о.е.} \quad (25)$$

Проводятся расчёты результирующего сопротивления до точки К1 и значения тока КЗ в точке К1.

$$x_{\text{рез}*} = 0,05 + 0,003 = 0,053.$$

$$I''_{\text{к1}} = \frac{1}{0,053} \cdot 0,08 = 1,51 \text{ кА.}$$

Результирующее значение сопротивления к точке К2 схемы:

$$x_{\text{рез}*} = x_{\text{с}*} + x_{\text{л}*} + x_{\text{тв}*} + x_{\text{тс}*}, \text{ о.е.} \quad (26)$$

Проводятся расчёты результирующего сопротивления до точки К2 и значения тока К3 в точке К2.

$$x_{\text{рез}*} = 0,05 + 0,003 + 0,108 + 0 = 0,161 \text{ о.е.}$$

$$I''_{\text{к2}} = \frac{1}{0,161} \cdot 0,24 = 1,49 \text{ кА.}$$

Результирующее значение сопротивления к точке К3 схемы:

$$x_{\text{рез}*} = x_{\text{с}*} + x_{\text{л}*} + x_{\text{тв}*} + x_{\text{тн}*}, \text{ о.е.} \quad (27)$$

Проводятся расчёты результирующего сопротивления и значения тока К3 в точке К3.

$$x_{\text{рез}*} = 0,05 + 0,003 + 0,108 + 0,068 = 0,229 \text{ о.е.}$$

$$I''_{\text{к3}} = \frac{1}{0,229} \cdot 1,47 = 6,42 \text{ кА.}$$

Далее определяется расчётное «значение ударного тока» [16]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_K'', \text{ кА}, \quad (28)$$

где  $k_{уд}$  – «ударный коэффициент тока КЗ» [12].

«По условию (28) для расчётных точек схемы К1-К3, значение ударных токов» [16] в именованных единицах:

– в точке К1 расчётной схемы:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,51 = 3,84 \text{ кА}.$$

– в точке К2 расчётной схемы:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,49 = 2,95 \text{ кА}.$$

– в точке К3 расчётной схемы:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 6,42 = 9,98 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта токов КЗ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1 (выводы 110 кВ)	Точка К2 (выводы 35 кВ)	Точка К3 (выводы 10 кВ)
$I_K$ , кА	1,51	1,49	6,42
$i_{уд}$ , кА	3,84	2,95	9,98

«Полученные результаты расчётов токов короткого замыкания на выводах силового трансформатора в максимальном режиме работы подстанции используются в работе далее» [16].

## 2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов подстанции

«Далее в работе, на основании технических данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств с целью проведения модернизации подстанции» [13].

Сводный анализ проблем, выявленных в схеме электрических соединений подстанции, а также предложенные пути их решения на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО были представлены в таблице 2.

При этом также необходимо выбрать новые аппараты (выключатели и разъединители), которые были установлены в ОРУ-110 кВ в результате проведения реконструкции её схемы электрических соединений.

«На основании обзора современных типов оборудования, проведён предварительный выбор новых марок (типоминалов) электрических аппаратов, которые рекомендуется установить в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ подстанции вместо устаревшего оборудования, которое подлежит демонтажу (таблица 6)» [17].

Таблица 6 – Предварительный выбор марок (типоминалов) новых электрических аппаратов

Место установки	Марка нового аппарата
ОРУ-110 кВ	Элегазовые баковые выключатели ВГТ-110П-40/2500 У1
ОРУ-110 кВ	Разъединители РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1
ОРУ-35 кВ	Элегазовые баковые выключатели ВГТ-35-40/2500 У1
ОРУ-35 кВ	Разъединители РГП-СЭЩ-35-20/1000 УХЛ1
РУ-10 кВ	Вакуумные выключатели ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2
РУ-10 кВ	Ограничители перенапряжения ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1

Приводится принятая методика с расчётными формулами для выбора электрических аппаратов подстанций [7], [18].



«Выбор электрических аппаратов подстанций по номинальному напряжению» [7]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (29)$$

«Выбор электрических аппаратов подстанций по максимальному рабочему току» [7]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (30)$$

«Проверка коммутационных и защитных электрических аппаратов подстанций на симметричный ток отключения» [7]:

$$I_{пт} \leq I_{откн.н}. \quad (31)$$

где  $I_{пт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов;  
 $I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выбранного аппарата, кА» [7];

«Проверка коммутационных и защитных электрических аппаратов подстанций на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (32)$$

«Где  $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;  
 $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;  
 $\tau$  – наименьшее время до момента расхождения контактов» [7].

«Наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов коммутационных и защитных электрических аппаратов подстанций» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (33)$$

где « $t_{з.мин} = 0,01$  с – минимальное время действия релейной защиты;  
 $t_{с.в}$  – собственное время отключения коммутационного (защитного) аппарата подстанции» [7].

«На электродинамическую устойчивость коммутационных и защитных электрических аппаратов подстанций проверяются по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (34)$$

где « $i_{np.c}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ, кА;  
 $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя, кА» [18].

«Проверка коммутационных и защитных электрических аппаратов подстанций на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (35)$$

где « $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ ;  
 $I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ ;  
 $t_T$  – длительность тока термической устойчивости, с» [18].

«При этом расчётное значение теплового импульса» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (36)$$

«Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатель высокого напряжения элегазовый, нового образца и модификации, для установки в ОРУ-110 кВ, марки ВГТ-110П-40/2500 У1 (завод-изготовитель – ООО «Эпромстрой»).

Результаты выбора выключателей новых высокого напряжения для установки в ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области, представлены в работе в форме таблицы 7» [16].

Таблица 7 – «Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в ОРУ-110 кВ» [16]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Вводные выключатели: ВГТ-110П-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,51 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,51^2 \times 3 = 6,84 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционный выключатель: ВГТ-110П-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,51 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,51^2 \times 3 = 6,84 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Для всех присоединений (двух вводных и одного секционного) выбраны выключатели марки ВГТ-110П-40/2500 У1.

«Все выбранные выключатели для установки на вводных и секционном при соединениях в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки.

Аналогично выбраны новые выключатели для установки в ОРУ-35 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области (таблица 8)» [16].

Таблица 8 – «Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в ОРУ-35 кВ» [16]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Вводные выключатели: ВГТ-35-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{ном,мах}$	$I_{мах}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,49 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,49^2 \times 3 = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционный выключатель: ВГТ-35-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{ном,мах}$	$I_{мах}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,49 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,49^2 \times 3 = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейные выключатели: ВГТ-35-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{ном,мах}$	$I_{мах}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,49 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,49^2 \times 3 = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Аналогично выбраны новые выключатели для установки в РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области (таблица 9).

Для установки в РУ-10 кВ подстанции предлагается использовать новые вакуумные выключатели марки ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2 (вводные и секционные выключатели) и марки ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2 (линейные выключатели на всех отходящих линиях).

Завод-изготовитель данных выключателей даёт гарантию 25 лет на полное обслуживание данного оборудования [8]. Таким образом, при использовании данного оборудования будет значительная экономия материально-технических и людских ресурсов.

Таблица 9 – «Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ» [8]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Вводные выключатели: ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{ном,мах}$	$I_{мах}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 6,42 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,98 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$

	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,42^2 \times 3 = 123,6 \text{ кА}^2 \text{ с}.$	$B_K = 20^2 \times 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}.$
Секционные выключатели: ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном}.$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}.$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}.$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}.$	$I_{н.т} = 6,42 \text{ кА}.$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}.$
	$i_y \leq i_{дин}.$	$i_y = 9,98 \text{ кА}.$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}.$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,42^2 \times 3 = 123,6 \text{ кА}^2 \text{ с}.$	$B_K = 20^2 \times 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}.$
Линейные выключатели: ВБЧЭ-10-31,5/1000 УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном}.$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}.$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}.$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}.$	$I_{н.т} = 6,42 \text{ кА}.$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}.$
	$i_y \leq i_{дин}.$	$i_y = 9,98 \text{ кА}.$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}.$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,42^2 \times 3 = 123,6 \text{ кА}^2 \text{ с}.$	$B_K = 20^2 \times 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}.$

«В работе для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области выбирается новые разъединители марки РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель – ОАО «Электрощит»).

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

Результаты выбора и проверки новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, представлены в таблице 10» [16].

«Таблица 10 – «Результаты выбора новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ» [16]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Вводные разъединители: РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}.$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}.$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}.$
	$i_y \leq i_{дин}.$	$i_y = 3,84 \text{ кА}.$	$i_{дин} = 25 \text{ кА}.$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,51^2 \times 3 = 6,84 \text{ кА}^2 \text{ с}.$	$B_K = 20^2 \times 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}.$
	$U_{сети} \leq U_{ном}.$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}.$
Секционные разъединители: РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}.$
	$i_y \leq i_{дин}.$	$i_y = 3,84 \text{ кА}.$	$i_{дин} = 25 \text{ кА}.$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,84 \text{ кА}^2 \text{ с}.$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}.$

«Аналогично выбраны разъединители напряжением 35 кВ для установки в ОРУ-35 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО (таблица 11)» [16].

Таблица 11 – «Результаты выбора новых разъединителей для установки в ОРУ-35 кВ» [16]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Вводные разъединители: РГП-СЭЩ-35-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,49^2 \times 3 = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционные разъединители: РГП-СЭЩ-35-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейные разъединители: РГП-СЭЩ-35-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,95 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Для защиты от атмосферных перенапряжений в РУ-10 кВ необходимо установить современные ограничители перенапряжения (далее – ОПН), которые заменили в последнее время разрядники.

Установлено, что в ОРУ-110 кВ и ОРУ-35 кВ ОПН уже установлены, следовательно, в работе их выбирать и заменять не требуется. «Результаты выбора и проверки ОПН для установки в РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области приведены в таблица 12» [1].

Таблица 12 – «Результаты выбора и проверки ОПН для установки в РУ 10 кВ подстанции» [1]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Паспортные технические данные	Расчетные данные сети
Сеть 10 кВ: ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{номmax}$	$I_{max}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,98 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \times t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 6,42^2 \times 3 = 123,6 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \times 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Всё выбранное оборудование проверено на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания, а также на условие соответствия максимальным рабочим токам сети, рассчитанным в работе. Установлено, что в результате проведения проверочных расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ подстанции 110/35/10 кВ с целью её модернизации, все выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок» [5].

«Таким образом, в работе приняты современные технические решения по выбору и проверке электрооборудования ПС-110/35/10 кВ, включающие применение новых современных модификаций электрических аппаратов, которые характеризуются высокими техническими и экономическими характеристиками.

Все выбранные аппараты в результате проведения модернизации показаны в работе на графическом листе 2» [4].

Выводы по разделу.

Для решения поставленной основной задачи реконструкции схемы нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области, а также первой дополнительной задачи по модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств, в работе проведён расчёт электрических нагрузок всех присоединений отдельных потребителей 35 кВ и 10 кВ, секций сборных шин 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ, а также всей подстанции в целом.

Рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в максимальном режиме работы ПС-110/35/10 кВ на выводах силового трансформатора 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы подстанции.

На основании полученных результатов установлено, что два силовых трансформатора марки ТДТН-16000/110 кВ, установленные на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, выдержат нагрузку нормального режима и аварийную перегрузку максимального режима с учётом реконструкции схемы ОРУ-110 кВ и ввода новой питающей линии 110 кВ.

С учётом этого, предложено ввести в эксплуатацию вторую питающую воздушную линию напряжением 110 кВ, которая будет питать второй силовой трансформатор от ПС «Морец». При этом, с целью экономии ресурсов, предлагается для данной линии использовать те же опоры, что и для существующей воздушной линией электропередачи напряжением 110 кВ «Морец-Пестровка» (провод АС-120/19).

При этом траверсы на данной линии предлагается заменить с одноцепных на двухцепные, подвесив провода новой ВЛ-110 кВ ниже существующей линии.

Такой подход приведёт к значительной экономии времени и финансов [15].

Для новой питающей линии электропередачи выбран и проверен провод марки АС-120/19, также проверены на соответствие установке проводники отходящих линий напряжением 35 кВ и 10 кВ.

«В результате проведения модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ, на трансформаторной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО внедрены практические мероприятия по модернизации оборудования с заменой устаревших модификаций на современные типы» [6].

Выбраны новые выключатели и разъединители в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ подстанции, с последующей проверкой их на соответствие условиям электрической цепи.

Таким образом, в работе решена комплексная задача по реконструкции питающей схемы ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО с параллельной реконструкцией схемы электрических соединений ОРУ 110 кВ (основная задача), а также модернизацией устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ данной подстанции (первая дополнительная задача).



### **3 Расчёт заземления и молниезащиты подстанции 110/35/10 кВ «Пестравка»**

#### **3.1 Расчёт системы заземления подстанции**

В работе проводится решение второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области. Для этого необходимо провести практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Далее в работе проводится расчёт системы заземления подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области.

«Как известно, заземляющие устройства являются составной частью большинства электроустановок и служат для обеспечения необходимого уровня электробезопасности в зоне обслуживания электроустановки и за ее пределами.

Определение параметров заземления сводится к вычислению сопротивления выравнивающих полос заземления, образующих сетку, и количества вертикальных электродов.

В углах подстанции и на заземляющих устройствах электрического оборудования, должны быть установлены вертикальные электроды.

На ПС-110/35/10 кВ предусматривается защитное заземление, обеспечивающее защиту обслуживающего персонала от опасных напряжений прикосновения к металлическим частям основного оборудования (опорных конструкций в ОРУ-110 кВ и ОРУ-35 кВ, осветительным установкам, линейным порталным опорам), которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции.

В качестве искусственных заземлителей применяются вертикальные и горизонтальные стальные стержни.

Размещение горизонтальных заземлителей производится таким образом, чтобы достичь равномерного распределения электрического потенциала на площади, занятой оборудованием.

При этом контур заземления ПС-110/35/10 кВ» [14] «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области выполняется в виде сетки с использованием вертикальных, горизонтальных заземлителей, а также заземляющих проводников, соединяющих контур заземления с металлическими частями оборудования подстанции.

«Допустимое время воздействия электрического тока на организм людей» [3]:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{отк.в}}, \text{ с.} \quad (37)$$

Для условий ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области, с учётом наличия быстродействующей релейной защиты, отключающей выключатели в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 В и РУ-10 кВ в случае попадания человека под действующее напряжение:

$$\tau_{\text{в}} = 0,1 + 0,035 = 0,135 \text{ с.}$$

Определяется сопротивление растекания тока от ступней человека (шаговое перенапряжение):

$$R_{\text{с}} = 1,5 \cdot \rho, \text{ Ом.} \quad (38)$$

С учётом специфики оборудования и грунта подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$R_{\text{с}} = 1,5 \cdot 0,009 = 0,0135 \text{ Ом.}$$

Коэффициент сопротивления тела человека с учётом растекания тока от ступней [3]:

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{с}}}. \quad (39)$$

Для условий ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 0,0135} = 0,99.$$

«Определяется суммарная длина горизонтального заземлителя на подстанции» [19]:

$$L_r = \frac{130}{5} \cdot 48 + \frac{48}{5} \cdot 130 = 2496 \text{ м.}$$

Коэффициент напряжения прикосновения на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$K_{\text{п}} = \frac{M \cdot \beta}{\left( \frac{I_{\text{в}} \cdot L_r}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}. \quad (40)$$
$$K_{\text{п}} = \frac{0,5 \cdot 0,99}{\left( \frac{5 \cdot 2496}{5 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} \right)^{0,45}} = 0,105.$$

Напряжение на заземлителе контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп.}}}{K_{\Pi}}, \text{кВ.} \quad (41)$$

Для проектируемого контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$U_3 = \frac{400}{0,105} = 3810\text{В} = 3,81\text{кВ.}$$

Сопrotивление заземляющего устройства подстанции:

$$R_{\text{з.доп.}} = \frac{U_3}{I_3}, \text{Ом.} \quad (42)$$

Для заземляющего контура ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$R_{\text{з.доп.}} = \frac{3,81}{1,3} = 2,931\text{Ом.}$$

Число ячеек по стороне квадрата контура заземления понизительной подстанции:

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1. \quad (43)$$

Для контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$m = \frac{2496}{2 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} - 1 = 14,8.$$

Принимается  $m=15$ .

Длина полос в проектируемом контуре заземления подстанции:

$$L_r^{15} = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1), \text{ м.} \quad (44)$$

Для условий контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$L_r^{15} = 2 \cdot \sqrt{130 \cdot 48} \cdot (15 + 1) = 2528 \text{ м.}$$

Длина сторон ячеек в проектируемом контуре заземления подстанции:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \text{ м.} \quad (45)$$

Для проектируемого контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$b = \frac{\sqrt{130 \cdot 48}}{15} = 5,5 \text{ м.}$$

Число вертикальных заземлителей по периметру контура заземления:

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{\frac{a}{l_B} \cdot l_B}. \quad (46)$$

Для проектируемого контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$n_B = \frac{\sqrt{130 \cdot 48 \cdot 4}}{5} = 63,2.$$

Принимается для проектируемого контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области  $n_B=64$ .

При этом общая длина вертикальных заземлителей в контуре заземления подстанции:

$$L_B = l_B \cdot n_B, \text{ м.} \quad (47)$$

Для условий ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$L_B = 5 \cdot 64 = 320 \text{ м.}$$

Относительная глубина заложения сетки электродов:

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_B + t}{\sqrt{S}}, \text{ м.} \quad (48)$$

Для расчётных условий контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{5 + 0,7}{\sqrt{130 \cdot 48}} = 0,384 \text{ м.}$$

Общее сопротивление сложного заземлителя:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_r^{16} + L_b}, \text{ Ом.} \quad (49)$$

Для условий системы заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$R_3 = 0,384 \cdot \frac{0,009}{\sqrt{130 \cdot 48}} + \frac{0,009}{2528 + 320} = 4,685 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление сложного заземлителя спроектированного контура заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области удовлетворяет минимальным условиям проверки:

$$R_3 = 4,685 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \leq R_{3,\text{доп.}} = 2,931 \text{ Ом.}$$

Напряжение прикосновения в спроектированном контуре заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области:

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot R_3 \cdot I_3, \text{ В.} \quad (50)$$

$$U_{\text{пр}} = 0,105 \cdot 4,658 \cdot 10^{-5} \cdot 1,3 = 6,358 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Условие выполняется, система заземления подстанции рассчитано верно.

В контуре заземления все части соединяются свариванием или глухими болтовыми соединениями.

Коммутационные и защитные аппараты в системе заземления устанавливать запрещается [9].

Конструктивное выполнение спроектированной системы заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» представлено на графическом листе 4.

### 3.2 Расчёт молниезащиты подстанции

В соответствии с [15], устанавливается необходимый комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей (сельскохозяйственных животных), предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, пожаров и разрушений, возможных при воздействиях молнии.

Согласно [7], от стоек конструкции ОРУ с молниеотводами, должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех-четырёх направлениях для ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области.

Кроме того, должно быть установлено соответственно два-три или один-два вертикальных электрода длиной 3-5м на расстоянии, не меньшим длины электрода.

Согласно [7], место присоединения конструкции со стержневым молниеотводом к заземляющему контуру подстанции расположено на расстоянии более 15м по магистралям заземления от места присоединения к нему трансформатора.

«Защита ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области осуществляется стержневыми молниеотводами.

На высоте  $h_x$  защищаемого объекта (наиболее выступающие части оборудования и конструкций ОРУ 110 кВ) радиус действия молниеотвода определяется по формуле» [7]:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_a}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot p, \quad (51)$$

«где  $h=24$ м – высота молниеотвода;

$h_a$  – активная высота молниеотвода;

$h_x=12$ м - высота наиболее выступающих элементов ОРУ 110 кВ;



$p$  – коэффициент, равный единице при высоте молниеотвода  $h < 30\text{м}$ » [7].

«Для системы молниезащиты ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области» [7]:

$$h_a = h - h_x = 24 - 12 = 12\text{м.}$$

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 12}{1 + \frac{12}{24}} \cdot 1 = 12,8\text{м.}$$

«Наименьшая ширина зоны защиты  $b_x$  определяется по формуле» [7]:

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \frac{7h_a - 1}{14h_a - a}. \quad (52)$$

«Расстояние от оси установки молниеотводов системы молниезащиты ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области до границы защищаемой зоны» [7]:

$$b_{x1} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 40}{14 \cdot 12 - 40} = 17,6\text{м,}$$

$$b_{x2} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 42}{14 \cdot 12 - 42} = 17,1\text{м.}$$

«Условие для защиты объекта высотой  $h_x$  внутри зоны защиты» [4]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (53)$$

«где  $D$  – наибольшая диагональ четырехугольника» [4].

$$D = \sqrt{40^2 + 42^2} = 58\text{м.}$$

Проверяется условия соответствия системы молниезащиты ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области минимальным условиям надёжности:

$$D \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96\text{м.}$$

$$58\text{м} \leq 96\text{м.}$$

Условия соответствия системы молниезащиты ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области минимальным условиям надёжности выполняются.

Следовательно, система молниезащиты понизительной подстанции рассчитана верно и может быть рекомендована к использованию на объекте.

«Таким образом, окончательно принимается к установке на объекте четыре молниеотвода высотой 24 м» [7].

Выводы по разделу.

В работе проведено решение второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области. Для этого проведён практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Рассчитана и проверена система заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области, необходимая для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала во всех распределительных устройствах подстанции при возникновении аварийных ситуаций, связанных с явлением утечки токов на землю. Также в работе рассчитана и проверена система молниезащиты для установки на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО.

## Заключение

В результате выполнения работы разработан и предложен проект реконструкции питающей схемы подстанции с параллельной реконструкцией схемы электрических соединений ОРУ 110 кВ, а также модернизацией устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ трансформаторной понижающей подстанции переменного тока ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

На первом этапе работы, с целью уточнения состояния объекта проектирования и проведения анализа исходных данных, приведена исходная характеристика принципиальной схемы нормального режима и основного оборудования ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области.

В результате проведения анализа исходной схемы с учётом текущего состояния основного оборудования, в работе предложено решить следующие задачи (основная и дополнительные), а именно:

- в качестве основной задачи в работе, предлагается разработать и обосновать комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения наиболее целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ;
- в качестве первой дополнительной задачи, решение которой необходимо для достижения высоких показателей надёжности и бесперебойности электроснабжения рассматриваемого объекта, необходимо провести модернизацию оборудования распределительных устройств понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, обусловленная применением устаревшего, неэффективного и

ненадёжного оборудования в распределительных устройствах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ объекта исследования;

- в качестве второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах подстанции, необходимо провести практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Установлено, что основная задача в работе решается путём реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО, что обусловлено необходимостью внедрения целесообразной схемы для питания потребителей подстанции со стороны источника питания на напряжении 110 кВ. Установлено, что среди потребителей ПС преобладает вторая категории надёжности, поэтому вся подстанция требует двух независимых источников питания от энергосистемы, а также применения новой улучшенной схемы нормального режима в ОРУ-110 кВ. Кроме того, подстанция – узловая, следовательно, через неё возможен транзит мощности (в случае необходимости).

Таким образом, на основании данных аргументов принято решение о проектировании и последующем вводе в эксплуатацию второго независимого источника питания подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО на стороне 110кВ, с внедрением новой схемы нормальных электрических соединений «5Н».

Установлено, что для решения дополнительных задач в работе планируется замена устаревших электрических аппаратов во всех распределительных устройствах подстанции, а также перерасчёт устройств заземления и молниезащиты объекта проектирования. Данные мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой принятых решений. Таким образом, при решении поставленных задач (основной и дополнительных), цель работы будет достигнута.

Для решения поставленной основной задачи реконструкции схемы нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО Самарской области, а также первой дополнительной задачи по модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств, в работе проведён расчёт электрических нагрузок всех присоединений отдельных потребителей 35 кВ и 10 кВ, секций сборных шин 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ, а также всей подстанции в целом.

Рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в максимальном режиме работы ПС-110/35/10 кВ на выводах силового трансформатора 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы подстанции.

На основании полученных результатов установлено, что два силовых трансформатора марки ТДТН-16000/110 кВ, установленные на ПС-110/35/10 кВ «Пестровка» Чапаевского ПО, выдержат нагрузку нормального режима и аварийную перегрузку максимального режима с учётом реконструкции схемы ОРУ-110 кВ и ввода новой питающей линии 110 кВ.

С учётом этого, предложено ввести в эксплуатацию вторую питающую воздушную линию напряжением 110 кВ, которая будет питать второй силовой трансформатор от ПС «Морец». При этом, с целью экономии ресурсов, предлагается для данной линии использовать те же опоры, что и для существующей воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ «Морец-Пестровка» (провод АС-120/19).

При этом траверсы на данной линии предлагается заменить с одноцепных на двухцепные, подвесив провода новой ВЛ-110 кВ ниже существующей линии. Такой подход приведёт к значительной экономии времени и финансов [15].

Для новой питающей линии электропередачи выбран и проверен провод марки АС-120/19, также проверены на соответствие установке проводники отходящих линий напряжением 35 кВ и 10 кВ.

«В результате проведения модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ, на

трансформаторной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО внедрены практические мероприятия по модернизации оборудования с заменой устаревших модификаций на современные типы» [6].

Выбраны новые выключатели и разъединители в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ подстанции, с последующей проверкой их на соответствие условиям электрической цепи.

В работе проведено решение второй дополнительной задачи, решение которой способствует уменьшению аварийности и повышению безопасности в распределительных устройствах ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области.

Для этого проведён практический перерасчёт заземления и молниезащиты объекта исследования.

Рассчитана и проверена система заземления ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО Самарской области, необходимая для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала во всех распределительных устройствах подстанции при возникновении аварийных ситуаций, связанных с явлением утечки токов на землю.

В работе также рассчитана и проверена система молниезащиты для установки на ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО.

Таким образом, в работе решена комплексная задача по реконструкции питающей схемы ПС-110/35/10 кВ «Пестравка» Чапаевского ПО с параллельной реконструкцией схемы электрических соединений ОРУ 110 кВ (основная задача), а также модернизацией устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ данной подстанции (первая дополнительная задача).

## Список используемых источников

1. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 16.09.2023).
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 16.09.2023).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 16.09.2023).
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2018. 180 с.
6. Михеев Г В. Ресурсосберегающая диагностика высоковольтного электрооборудования. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. 376 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от

01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 17.09.2023).

11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.

13. Правила устройства электроустановок. М.: Альвис, 2018. 632 с.

14. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

15. Спиридонов Н.Н. Режимы работы электрооборудования станций и подстанций. М.: Нестор-История, 2019. 256 с.

16. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Моркнига, 2018. 215 с.

17. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 16.09.2023).

18. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 16.09.2023).

19. Схема ЛЭП ПС-110/35/10 кВ «Пестравка». [Электронный ресурс]: URL: <https://frexosm.ru/power/#12.5/52.41354/49.9477> (дата обращения: 16.09.2023).

20. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 17.09.2023).